



**SAVONIA**

■ VALITSE KOHDE. - VALITSE KOHDE.  
VALITSE KOHDE.

# UUSIOKÄYTTÖISEN JÄTTEEN NYKYINEN JA TULEVA ANALYTIikka

TEKIJÄ/T: Harri Törrönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Harri Törrönen			
Työn nimi Uusiokäyttöisen jätteen nykyinen ja tuleva analytiikka			
Päiväys	15.5.2016	Sivumäärä/Liitteet	33/0
Ohjaaja(t) Lehtori Teemu Räsänen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Susanna Arvilommi, Labtium Oy			
Tiivistelmä  <p>Työn taustana oli Labtium Oy:n tarve luoda hankkimalleen standardille laaja ja selkeä ohjeistus, sekä toimiva excel-työkalu. Hankittu standardi käsittelee jätteiden happo- ja emäspuskurointikapasiteettia. Edellämainitut ominaisuudet ovat tarpeellisia tuntea, esimerkiksi suunniteltaessa jätteiden loppusijoitusta. Tämän vuoksi koettiin, että työhön on tarpeellista lisätä teoriaosuus, joka käsittelee uusiokäyttökelpoisen jätteen määrän kehitystä Suomessa, uusiokäyttökelpoisen jätteen erilaisia hyödyntämismetodeja, sekä katsaus laboratorioanalytiikkaa tarjoavista yrityksistä Suomessa.</p> <p>Opinnäytetyö suoritettiin kahdessa vaiheessa. Käytännön osuus, eli standardin koeajo suoritettiin Labtium Oy:n Kuopion toimitiloissa, Neulaniementie 5:ssä. Käytännön osuuden aikana koeajoja suoritettiin useampia, ohjeistuksen kattavuuden varmistamiseksi. Työn teoriaosuuden vaatimat materiaalit kasattiin pääasiallisesti erilaisista internetlähteistä ja kirjallisuudesta.</p> <p>Opinnäytetyön seurauksena työn tilaaja, Labtium Oy sai standardilleen valmiin ohjeistukseen, jossa mahdolliset käytännönongelmat oli huomioitu. Luotiin myös laajennettu versio standardin tarjoamasta excel-työkalusta. Yritys sai myös paremman käsityksen muista Suomessa laboratorioanalytiikkaa tarjoavista yrityksistä, jätevirtojen tulevasta kehityksestä Suomessa sekä uusiokäyttöisten jätteiden, etenkin tuhkan ja betonin hyötykäyttömeneistä.</p>			
Avainsanat			
Betoni, tuhka, uusiokäyttö, standardi, analytiikka			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Harri Törrönen			
Title of Thesis Modern and Upcoming Analytic Methods for Re-usable Wastes			
Date	15 May 2016	Pages/Appendices	30/4
Supervisor(s) Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Susanna Arvilommi, Labtium oy			
<p>Abstract</p> <p>The main goal of this thesis was to create an easy to follow and thorough guide for Labtium Oy's new waste characterization standard. Also, excel tool provided by their standard was modified. The Standard acquired by Labtium Oy is used to determine the acid and base neutralization capacity of waste. For example, acid and base neutralization attributes are essential to know when planning the repository of waste. The theory part for this thesis was added to provide more information about the evolution of the amount of corporate waste in Finland, the methods of re-using wastes and companies in Finland that provide services for waste analyzation.</p> <p>The thesis was completed in two parts. The practical part, the test runs for the standard, were conducted in laboratory at Labtium Oy's office in Kuopio. Several test runs were conducted to ensure that the guide and the excel tool for the standard had enough data. The materials needed for the theory part were compiled from Internet sources and literature.</p> <p>As a result of this thesis, Labtium Oy received a complete manual for the standard and an improved excel tool. The company also obtained a wider understanding about issues presented in the theory section of this thesis.</p>			
Keywords			
Concrete, Ash, Re-use, Standard, Analytics			

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö käsittelee uusiokäyttöön kelpaavien jätteiden, pääasiassa betonin ja tuhkan nykyistä analytiikkaa, luoden samalla katsauksen tuleviin muutoksiin politiikan ja asetusten suhteen. Jätteiden tulevaisuuden kokonaiskuvan tässä työssä muodostavat Suomen eri alueille luodut jätesuunnitelmat.

Tämän työn tilasi Labtium Oyj, joka on käyttöönottamassa uutta standardia liittyen jätteiden uusiokäyttöön, erityisesti tuhkan ja betonin. Muu osuus tästä opinnäytetyöstä pyrkii laajentamaan yrityksen näkemystä alan toiminnasta ja toimijoista, sekä luomaan käsityksen jätteiden uusiokäytön ja määrien kehityksestä.

Kuopiossa 26.4.2016

Harri Törrönen

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Tausta ja tavoitteet .....	6
1.2	Sanasto .....	7
2	JÄTEVIRTOJEN MÄÄRIEN KEHITYS SUOMESSA .....	8
2.1	Yhdyskuntajätteen määrän kehitys Suomessa .....	8
2.2	Case Rudus: Lentotuhka-, pohjatuhka- & betoniohjeistus .....	10
2.3	Case Tasotyö .....	13
3	JÄTTEIDEN UUSIOKÄYTTÖ .....	14
3.1	Nykyiset hyötykäyttömimetodit .....	14
3.1.1	Betonin hyötykäyttömimetodit .....	14
3.1.2	CASE: Helsinki, Espoo ja Vantaa .....	16
3.1.3	Tuhkan hyötykäyttömimetodit .....	18
4	ANALYTIikka JÄTTEIDEN KARAKTERISOINNISSA .....	22
4.1	Tuhka ja betoni .....	22
4.1.1	Tuhkaan sovellettava analytiikka .....	23
4.1.2	Betoniin sovellettava analytiikka .....	25
4.2	Analytiikkapalveluja tarjoavat yritykset Suomessa .....	25
5	STANDARDI CEN/TC 292 N 589, ACID AND BASE NEUTRALIZATION CAPACITY TEST .....	27
5.1	Standardin käyttötarkoitus ja esittely .....	27
5.2	Standardin suoritus .....	27
6	YHTEENVETO .....	30
7	LÄHTEET .....	31

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja tavoitteet

Uusiutuvaan energiaan siirtyminen ja tiukentuva ympäristölainsäädäntö luovat jatkuvasti lisätarvetta jätteiden karakterisoinnille ja uusille innovaatioille laboratorioanalytiikan alalla. Etenkin jätetuhkan ja -betonin hyötykäyttöä ja tutkimista on viimeisen vuosikymmenen aikana lisätty. Myös lainsäädännön luomat tulevat rajoitukset, kuten edellämainittujen betonin ja tuhkan kaatopaikalle hautaamisen vähentäminen ja lopulta mahdollinen lopettaminen, lisäävät tarvetta tuntea uusiokäyttöisten jätteiden ominaisuuksia.

Jätejakeiden ominaisuuksia tutkivat, laboratorioanalytiikan palveluita tarjoavat yritykset perustavat toimintatapansa yleisesti hyväksyttyihin ja julkaistuihin standardeihin. Näitä standardeja julkaisevat useat eri standardointiorganisaatiot, kuten Euroopassa toimiva CEN:n. Jätteiden ominaisuuksien karakterisoinnin tarkoituksena on tuntea materiaalin koostumus, materiaalin rakenne, hivenaine- eli epäpuhtaustausta, pinnan koostumus ja rakenne ja materiaalin ominaisuudet sille ajatellussa tehtävässä. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä, Pohjakallio, 232)

Suomessa on useita laboratorioanalytiikkaa tarjoavia yrityksiä ja Labtium Oy on yksi kyseisistä yrityksistä. Keväällä 2016 Labtium Oy lisäsi palveluvalikoimaansa uuden jätteiden happo- ja emäspuskurointikapasiteettia määrittävän standardin. Tälle standardille luotiin laajennettu excel-työkalu sekä kattava ohjeistus koesuorituksen läpivientiin.

Opinnäytetyön suoritus tapahtui kahdessa vaiheessa, kirjallisuustutkielmana ja käytännön suorituksena. Kirjallisuustutkielmaan tarvittavat lähdemateriaalit kasattiin kirjallisuudesta sekä internetlähteistä. Käytännön osuuden suorituspaikkana toimi Labtium Oy:n laboratoriotilat, Neulaniementie 5:ssä Kuopiossa. Suorituksessa koekäytettiin jätteiden happo- ja emäspuskurointikapasiteettia määrittävä standardi. Koesuoritusten perusteella luotiin työskentelyä ohjaava excel-työkalu sekä kirjallinen ohjeistus.

## 1.2 Sanasto

*Jätteiden karakterisointi* =Jätteiden ominaisuuksien selvitys laboratorioanalytiikalla

*Leachant, uuttoaine* =Seos, jolle standardissa tutkittava näyte altistetaan.

*Lentotuhka* =Savukaasuista erotettava tuhka-aine

*MARA-asetus*= Lakiasetus, joka mahdollistaa tuhkan käytön maanrakennuksessa ilman ympäristölupaa.

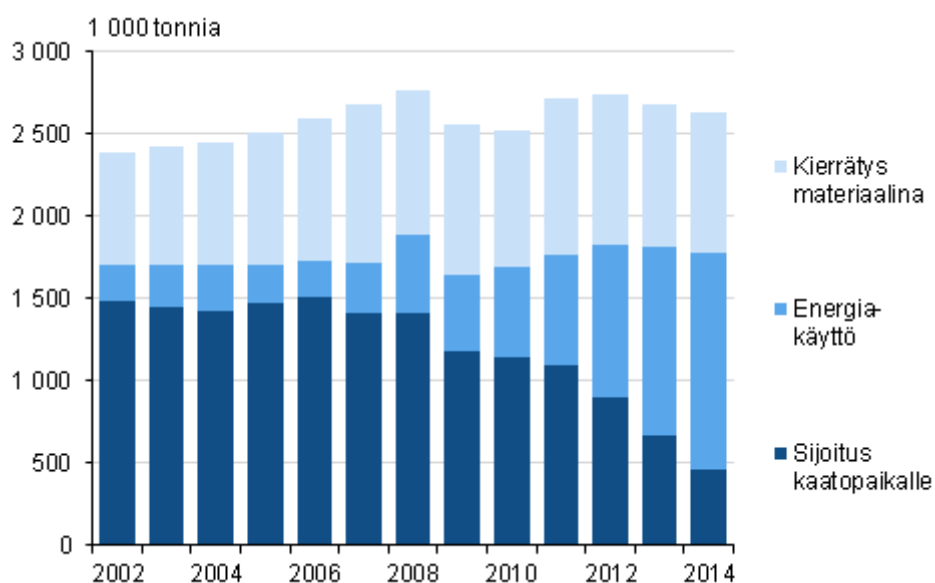
*Pohjatuhka* =Kattilan pohjalle kerääntyvä tai poistettavan leijupetimateriaalin mukana poistuva tuhka-aine. Koostumukseltaan yleensä sulanutta, paakkuntunutta. Seassa hiekkaa ja muita tuhka-ainetta erottuvia jakeita.

*Standardi* =Standardointiorganisaation hyväksymä tutkintametodi

## 2 JÄTEVIRTOJEN MÄÄRIEN KEHITYS SUOMESSA

### 2.1 Yhdyskuntajätteen määrän kehitys Suomessa

Yhdyskuntajätteen määrän kehitys Suomessa on ollut viimeisten vuosien aikana laskujohteista (2012—2014). Sen sijaan uusiokäyttöön, sekä energiantuotantoon ohjattujen jätelajien määrä on kasvanut Suomessa. Vuosien 2002—2014 välistä yhdyskuntajätteiden määrän kehitystä esittävästä kuviosta voidaan todeta energiakäyttöön menevän jätteen määrän olevan kasvanut yli 50 % vuodesta 2002, vuoteen 2014. (Stat.fi). Materiaalin kierrätyksen osuus on pysynyt suhteellisen samana koko otannan aikana. Tämän kehityksen jatkuessa tulevat myös kasvamaan energialaitoksilta poistettavat tuhkamäärät. Tämä tulee kasvattamaan uusiokäyttöön ohjattavien tuhkien määriä.



Kuvio 1. Yhdyskuntajätteiden määrän ja käyttötapojen kehitys vuosilta 2002—2014 (STAT)

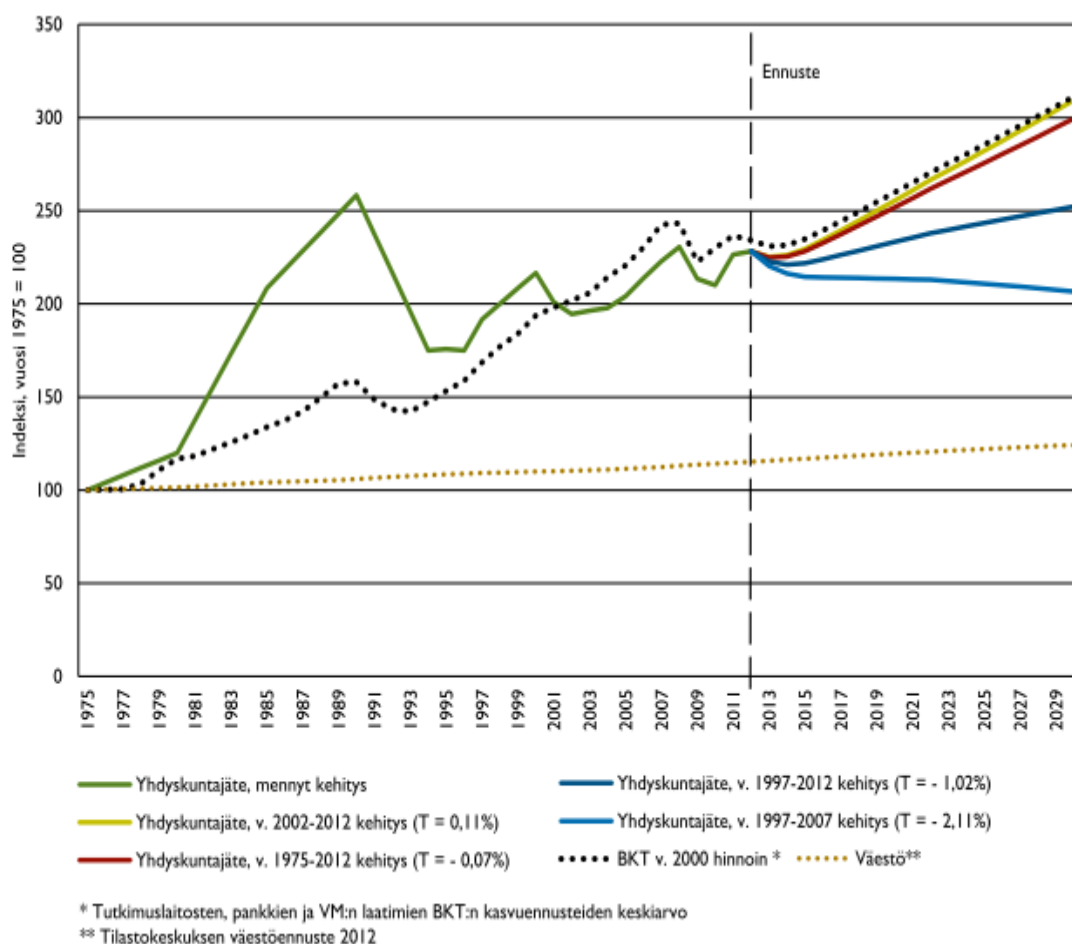
Ympäristöministeriön alainen työryhmä on luonut dokumentissa (Jättemäärien ennakkointi vuoteen 2030) ennusteen Suomen yhdyskuntajätteen määrän kehityksestä vuoteen 2030 saakka. Työssä on käytetty ns. IPAT-mallia. IPAT-malli kuvaa väestön koon, sen varauden määrä ja teknologian vaikutusta syntyvän ympäristövaikutuksen suuruuteen. Yhtälöä on aikaisemmin käytetty erilaisten ympäristövaikutusten kuvaajana, ei ainoastaan jättemäärien ennustajana. Yhtälö (1) koostuu kolmesta muuttujasta, joiden kaikkien painoarvo on yhtä suuri.

$$I = P * A * T \quad (1)$$

Kaavassa (1)  $P$  ilmaisee väestön lukumäärää, henkilöissä. Vaurautta kuvaava tekijä,  $A$ , ilmaistaan asukaskohtaisena bruttokansantuotteena. Väestön määrä ja yhteiskunnallinen vauraus ovat tyypillisesti kasvattaneet yhdyskuntajätteiden määrää. Teknolgiaitekijä,  $T$ , kuvataan taloudellisen

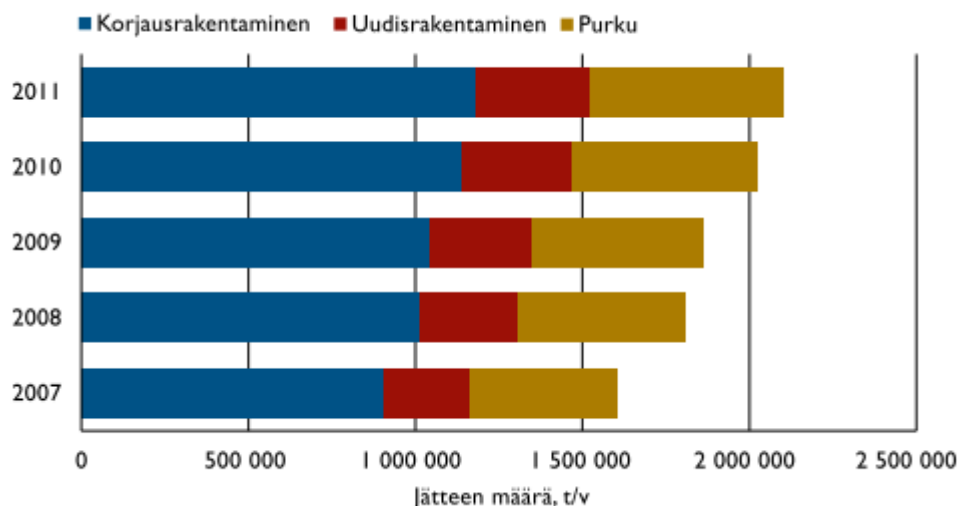


toiminnan ja syntyvän ympäristövaikutuksen suhdelukuna, eli ympäristövaikutus/bruttokansantuote. Muuttujalla  $T$  pyritään kuvaamaan mahdollisimman yksinkertaisesti yhteiskunnassa tapahtuvaa tuotannon tehostumista tai dematerialisaatiota. Yhdyskuntajätteen määrän,  $I$ :n määrän pieneneminen vaatii  $T$ :n laskevan arvon olevan suurempi, kuin väestön,  $P$  ja vaurauden  $A$  yhteenlaskettu kasvu. Raportoinnissa ei ole suoraan mainittu miten kansantalouden lama vaikuttaa yhdyskuntajätteen muodostukseen. Raportoinnissa on luotu kuvaaja ennustamaan yhdyskuntajätteen kehitystä. (Ympäristöministeriö).



Kuvio 2. Suomen yhdyskuntajätteen kehitysmäärien ennusteet vuoteen 2030 (Ympäristöministeriö)

Ennusteiden laatimiseen on käytetty väestökeskuksen vuoden 2012 väestönkasvuennustetta, tutkimuslaitosten, pankkien ja VM:n laatimien BKT:n kasvuennusteiden keskiarvoa. Rakennusjätteiden tilastointi on tällä hetkellä epämääräistä ja monelle eri taholle jakautunutta. (Ympäristöministeriö).



Kuvio 3. Rakennusjätteiden määrät ja osuudet kokonaisuudesta, vuodet 2007-2011 (SYKE)

Rakentamisen kokonaisjättemäärät vaihtelevat taloustilanteen mukaan, koska rakennusala on suhdanneriippuvainen. Talouden kehitys määrittelee investointien määrän rakennusprojekteihin. Suomessa korjausrakentamisen kehitys tulee olemaan suhdanteista vähiten riippumaton, koska Suomen talokanta on pääosin rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla, joten saneerauksen ja purkamisen tarve on välitöntä. (Ympäristöministeriö).

## 2.2 Case Rudus: Lentotuhka-, pohjatuhka- & betoniohjeistus

Rudus Oy on suomalainen kivipohjaisten rakennusmateriaalien valmistaja ja on osa suurempaa CRH plc-konsernia. Rudus Oy:n toimintaan kuuluvat myös kierrätysmateriaalit. Kuopiossa Rudus Oy:n jättemateriaalien vastaanottopiste sijaitsee Heinälamminrinteen kaatopaikalla, Jätekukon vastaanottopisteen läheisyydessä. Jätteenkeräystoimintaa on myös muissa kaupungeissa, joissa Ruduksella on toimintaa. Rudus Oy on julkaissut ohjeistukset ja raja-arvot vastaanotettavalle lentotuhkalle, pohjatuhkalle sekä betonille. Rudus Oy vastaanottaa betonin lisäksi myös muita mineraaliaineita, kuten tiiliä. (Rudus.fi). Alla olevat ohjeistukset pitävät sisällään jätteen tekniset ominaisuudet sekä ympäristöraja-arvot. Ympäristöraja-arvot määrittelee valtioneuvoston asetus (Vna 591/2006).

Taulukko 1. Lentotuhkan ympäristöraja-arvot (RUDUS)

HAITALLINEN AINE	RAJA-ARVO, MG/KG KUIVA-AINETTA LAADUNVALVONTATUTKIMUKSET		
	Pitoisuus *	Liukoisuus * (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus * (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne
Arseeni (As)	50		
Barium (Ba)	3 000		
Kadmium (Cd)	15		
Kromi (Cr)	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	400		
Lyijy (Pb)	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	50	0,5	6,0
Vanadiini (V)	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2 000		
Seleen (Se)		0,1	0,5
Fluoridi (F-)		10	50
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		1 000	10 000
Kloridi (Cl-)		800	2 400
* laadunvalvontatutkimusten määrittäminen on esitetty VN:ssä			

Taulukko 2. Pohjatuhkan ympäristöraja-arvot (RUDUS)

HAITALLINEN AINE	RAJA-ARVO, MG/KG KUIVA-AINETTA LAADUNVALVONTATUTKIMUKSET		
	Pitoisuus *	Liukoisuus * (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus * (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne
Arseeni (As)	50		
Barium (Ba)	3 000		
Kadmium (Cd)	15		
Kromi (Cr)	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	400		
Lyijy (Pb)	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	50	0,5	6,0
Vanadiini (V)	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2 000		
Seleen (Se)		0,1	0,5
Fluoridi (F-)		10	50
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		1 000	10 000
Kloridi (Cl-)		800	2 400
* laadunvalvontatutkimusten määrittäminen on esitetty VN:ssä			

Alla olevassa listauksessa on eritelty Ruduksen ohjeistus betonijätteen luokittelulle.

Ruduksen tiilijätteen luokittelu:

- Betonijäte pulveroitu, maksimisivunmitta 0,5 metriä
  - Betonikappaleiden suurimman yksittäisen sivun pituus saa olla 0,5 metriä. Betonikappaleet saavat sisältää betoniteräksiset. Betoniteräksien tulee olla katkaistu betonikappaleiden mittaiseksi.
- Betonijäte, sivunmitta <1 metri
  - Betonikappaleiden yksittäisen sivun mitta on yli puoli metriä, mutta alle yhden metrin. Betonikappaleet saavat sisältää betoniteräksiset. Betoniteräksien tulee olla katkaistu betonikappaleiden mittaisiksi. Tähän luokkaan kuuluvat myös betonilaitojen palautuskuormat sekä pumppuautojen ylijäämäbetonit.
- Betonijäte, sivunmitta 1-5 metriä
  - Betonikappaleiden yksittäisen sivun mitta on yli metrin, esim. ontelolaatat, pilarit, palkit. Mikäli betonikappaleiden yksittäisen sivun mitta on yli 5 m tai ne ovat erittäin runsaasti raudoitettuja tai vaikeasti varastoitavia, niitä ei oteta vastaan tässä luokassa, vaan "betonijäte, erikoiskappaleet".
- Betonijäte, erikoiskappaleet
  - Betonielementtejä tai -kappaleita, jotka ovat erittäin suuria tai vaikeasti rikottavia tai varastoitavia, esimerkiksi ratapölkkyt, sillat ja laiturit, järeät koneperustukset ja vastaavat. Tähän luokkaan kuuluvien betonijätteiden tuomisesta on sovittava etukäteen.
- Betonijäte, sisältää tiiltä
  - Saa sisältää puhdasta betonijätettä, sekä tiiltä enintään 20 paino- %. Mikäli tiilen osuus on suurempi, niin jäte luokitellaan luokkaan "kevyet betonit".
- Kevyet betonit
  - Kevyt betonituotteet, kuten Siporex- tai Leca- harkot ilman eristeitä
- Tiilijäte
  - Tiilijätteenä luetaan poltetut tiilet ja kalkkihiekkatiilet. Tiilijäte saa sisältää muurauslaastin.
- Betonikiviaines
  - Tähän luokkaan kuuluvat valmisbetonin ja betoniteollisuuden kuivatut pesukiviainekset. (Rudus.fi).

## 2.3 Case Tasotyö

Valitsin opinnäytetyötäni varten toiseksi käytännön esimerkiksi Kuopion alueella toimivan PS Tasotyö Oy:n. Ps Tasotyö Oy on yksi Kuopion alueen suurimmista uudisrakennuttajista. Ps Tasotyö Oy rakentaa Saaristokaupungin alueella rivi-, luhti- sekä kerrostalokohteita. Tein kyselyn ylijäämäbetonin määristä sekä betonin poistokustannuksista yrityksen vastaavalle työnjohtajalle. Vastausten perusteella muodostin yleiskuvan yrityksen kuluista, sekä poistometodeista ylijäämäbetonin suhteen.

Oletetaan, että tarkastelun kohteena on yleisin talotyyppi, jota Ps Tasotyö rakentaa, eli kaksikerroksinen rivitalokohde. Betonia tarvitaan lattian sekä muiden tukirakennelmien valamiseen. Myös kuistit ja sisäänkäynnit valetaan betonista. Hukkabetonia muodostuu jokaisessa kohteessa noin 1 % tilatun betonin kokonaismäärästä. Hukkabetonia pyritään käyttämään samanaikaisesti käynnissä oleviin kohteisiin, jos mahdollista. Ylijäämäbetonin jakamisen ollessa mahdotonta, sen poistamiseen on kaksi toimintatapaa. Ensimmäinen tapa on palauttaa ylijäämäbetoni samalla kuljetuksella, millä se tuotiin työmaalle. Tämä metodi on yritykselle taloudellinen ja helppo, massan palautus maksaa noin 85 euroa kuutiometriä kohden. Betonin jatkohävittämisen vastuu siirtyy tällöin betonia toimittavalle yritykselle. Toinen tapa on kuljettaa ylijäämäbetoni pois työmaalta omana työnä. Tämä metodi kasvattaa yrityksen poistokustannuksia hieman, sekä siirtää vastuun betonin uudelleensijoituksesta yritykselle. Omana työnä poistettu ylijäämäbetoni on kustannuksiltaan noin 35 euroa kuutiometriä kohden, normaalin työajan rajojen sisällä. Omana työnä ylijäämäbetoni viedään Heinälamminrinteellä sijaitsevaan Ruduksen toimintapisteeseen, josta he siirtävät uusiokäyttökelpoisen betonin eteenpäin. (Rafael Piirainen 2016-5-15).

### 3 JÄTTEIDEN UUSIOKÄYTTÖ

#### 3.1 Nykyiset hyötykäyttömetodit

Monet nykyisistä energia- ja rakennusteollisuuden jätteistä hyödynnetään maanrakennuksessa korvaten neitseellisten rakennusmateriaalien käyttöä. Tällöin säästetään esimerkiksi kuljetus- ja louhintakuluja sekä vähennetään hiilidioksidipäästöjä pienimmillä kuljetusmäärillä.

Yleisimpiä uusiokäyttöisiä jättejakeita ovat mm. betoni, lentotuhka, tiilet ja laatat. MARA-asetus mahdollistaa helpon uusiokäytön tuhkan eri jakeille ja betonimurskeelle. On kuitenkin huomioitava, että esimerkiksi tiiliä käsitellään MARA-asetuksessa betonin epäpuhtautena, jota saa kokonaismassasta olla vain 30%. Kyseisten raaka-aineiden, täyttäessään asetuksen vaatimukset, uusiokäyttöön ei vaadita ympäristölupaa. (ELY-keskus).

Jätteen hyödyntämisestä on tehtävä ilmoitus ympäristönsuojelun tietojärjestelmään, vaikka se ei vaatisi ympäristölupaa. Tämän velvoittavat jätelaki ja jätedirektiivi. Ympäristöhallinnon sivuilla on saatavilla tulostettava lomake, jolla ilmoituksen voi tehdä. (VNa 591/2006).

##### 3.1.1 Betonin hyötykäyttömetodit

Betonia käytetään maanrakennukseen hienojakoiseksi murskattuna. Yritykset, kuten Rudus Oyj ja Ekokem ovat ottaneet osaksi liiketoimintaansa ylijäämäbetonin kierrätyksen ja uusiokäytön. Betonijätteet ovat yleensä hyvin emäksisiä, joten niitä voidaan käyttää tasapainottamaan happamia maaperiä.

Murskattua betonia käytetään täyttömaana ja tienpohjina, koska murskattu betoni säilyttää kovettumisominaisuutensa. Betonimurskeen lujittuminen on suurinta ensimmäisten vuosien aikana ja lujittuminen hidastuu noin 2 - 5 vuotta rakentamisen jälkeen. Lujittuessaan betonimurskeesta muodostuu jäätynyttä luonnon kiviainesta vastaava laatta. Jätebetonia myös murskataan korvaamaan luonnon kiviaineksia uuden betonin runkoaineena. Esimerkiksi Rudus Oyj valmistaa Labroc-mursketta betoniteollisuuden ja rakennustyömaiden ylijäämäbetonista. Alla olevasta taulukoinnista nähdään betonimurskeen olevan luokiteltu viiteen luokkaan ominaisuuksiensa perusteella. Taulukoinnista nähdään myös betonimurskeen rakennusteknisiä ominaisuuksia. (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki).

Taulukko 3. Betonimurskeen luokittelu (TIELIIKELAITOS)

## UUSIOMATERIAALIEN KÄYTTÖ MAARAKENTAMISESSA

Taulukko 1. Betonimurskeiden 0/45 mm ominaisuuksia (BeM IV:n rakeisuus vaihtelee) [1].

Luokka	Raaka-aine	Lujittuminen	Routivuus	Vieraiden aineiden pitoisuus p-% Tiillä	Muiden aineiden maks. osuus*
BeM I	elementtiteollisuus	kyllä	ei	0	< 0,5
BeM II	Purku tai muu	kyllä	ei	< 10	< 1
BeM III	Purku tai muu	vaihtelee	ei	< 10	< 1
BeM IV	Purku tai muu	ei	vaihtelee	< 30	< 1

\* Puu, muovi ja vastaavat. Tämän paino-% vaatimuksen lisäksi erityisen kevyitä materiaaleja (esimerkiksi solu-muovi- ja mineraalivillaaeristeet) tai orgaanisia materiaaleja ei saa olla haitallisessa määrin.

Taulukko 2. Uusiotuotteiden rakennusteknisiä ominaisuuksia [1, 2, 3, 4].

		Betoni- murske	Masuunikuona Murske	Masuuni- hiekkä	OKTO eriste	Lento- tuhka	Rengas- rouhe
Kiintotiheys	(Mg/m <sup>3</sup> )	2,55 - 2,65	2,6 - 2,7	2,6 - 2,7	2,6 - 2,7	1,9 - 2,4	1,0 - 1,3
Irtotiheys	(Mg/m <sup>3</sup> )	1,8 - 2,0	1,35 - 1,45	1,0 - 1,5	1,1 - 1,35	1,2 - 1,55	0,6 - 0,65
Optimi vesipitoisuus	(%)	8 - 12	n. 8	11 - 15	11 - 15	14 - 28	
Kapillaarisuus	(m)	0,25	-	0,1 - 0,2	0,1	0,6 - 3,5	-
Vedenläpäisevyys, k	(m/s)	1 - 7 x 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-5</sup>	0,2 - 10 <sup>-2</sup>
Lämmönjoht. λ	(W/mK)		0,9	0,3 / 0,6 - 0,75**	0,35	0,4 - 1	
Happamuus, pH		12,7 - 12,9	11,0	12,5	-	12 - 12,5	
Kitkakulma Ø	(°)	40		45	45	28 - 42	19 - 25
Kimmomoduuli, E2	(MPa)	300 - 450 / 500 - 700*	600	600 / 1000*	100 - 150	50 - 100/ 300*	

\* sitomaton/sitoutunut

\*\* optimikosteudessa/kyllästyneenä

Betonijäte esikäsitellään usein ennen sen murskausta. Esikäsitellyllä helpotetaan murskausta, poistetaan osa teräksistä sekä suurimmat epäpuhtaudet. Betonijätteen pienentäminen tehdään paloittelemalla tai pulveroimalla. Pelkästään paloitteltua jätebetonia ei voida sellaisenaan käyttää hyödyksi, vaan se pitää jatkokäsitellä, pulveroinnilla. Pulveroitua betonijätettä on mahdollista käyttää sellaisenaan täyttöihin. (Hotanen 2005, 13.). Alla olevassa kuviossa on betonimurskeen synty havainnollistettuna.



## Kuvio 4. Mineraaliainesten käsittelykaavio (JÄTEKUKKO)

Taulukko 4. Betoroc-murskeen tekniset ominaisuudet (RUDUS)

	RAKEISUUS [MM]	LUJITTUMINEN	ROUTIVUUS	E-MODUULI* [MPa]	PÄÄASIALLINEN KÄYTTÖKOHDE
Betoroc BeM I	0/45	lujittuu*	routimaton*	700	kantava kerros
Betoroc BeM II	0/45	lujittuu*	routimaton*	500	kantava - / jakava kerros
Betoroc BeM II #0/90	0/90	lujittuu*	routimaton*	500	jakava kerros
Betoroc BeM III	0/45	vaihtelee	routimaton*	280 (tie) / 300 (katu)	jakava kerros
Betoroc BeM IV	vaihtelee	vaihtelee	vaihtelee	-	pengertäyte
Betoroc Hk	0/8...0/12	vaihtelee	vaihtelee	50...70	täyte
Betoroc Sr	0/20...0/65	vaihtelee	vaihtelee	70...150	jakava kerros / pengertäyte
Betoroc Lo	0/90...0/150	vaihtelee	routimaton*	150...200	pengeri

\* normaaleissa käyttöolosuhteissa ohjeen mukaisesti riittävän kantavan kerroksen päälle rakennettuna sekä ohjeen mukaisessa vesipitoisuudessa ja tiiveydessä

	OPTIMIVESI- PITOISUUS [%]	MAKSIMI-KUIVATILAVUUS- PAINO [KN/M³]	PURISTUSLUJUUS 28D [MPa]	VEDEN** LÄPÄISEVYYS [M/S]
Betoroc BeM I	10 ± 2	19,5 ± 0,5	> 1,2*	
Betoroc BeM II	10 ± 2	19,0 ± 1,0	> 0,8*	10 <sup>-4</sup>
Betoroc BeM III	11 ± 3	19,0 ± 1,5	-	
Betoroc BeM IV	11 ± 4	19,0 ± 1,5	-	-
Betoroc Hk	vaihtelee	18,0 ± 1,5	-	-
Betoroc Sr	vaihtelee	19,0 ± 1,5	-	-
Betoroc Lo	vaihtelee	19,0 ± 1,5	-	-

\*\* sora- ja kalliomurskeiden vedenläpäisevyys on yleensä 10<sup>-5</sup>...10<sup>-4</sup> m/s

Betoroc-murske soveltuu parhaiten sora- ja kalliomurskeiden korvaamiseen. Betoroc-mursketta voidaan hyötykäyttää kantavissa ja jakavissa rakennekerroksissa sekä erilaisissa täyttötöissä. Betoroc-murskeen käyttö on mahdollista pelkällä ilmoitusmenettelyllä VNa 591/2006 mukaisessa käyttökohteissa, kuten esimerkiksi pysäköintialueissa, urheilukentissä ja ratapihoissa. Rudus Oy ilmoittaa Betoroc-murskeen kykenevän lähes puolet sementin valmistuksessa aiheutuneista hiilidioksidipäästöistä. Lisäksi, tuotteella on mahdollisuus saavuttaa jopa kolmanneksen kustannushyöty, muihin perinteisimpiin kiviainesmateriaaleihin verrattuna. Tuote omaa CE-merkinnän rakennustuoteasetuksen 305/2011 ja standardin SFS-EN 13242 mukaisesti. (Rudus.fi).

## 3.1.2 CASE: Helsinki, Espoo ja Vantaa

Helsingin, Espoon sekä Vantaan kaupunkien nimissä on 17.3.2015 julkaistu ohjeistus betonimurskeen soveltamisesta infrarakentamiseen. Ohjeistuksessa on esitetty betonimurskeelle käyttökohteita, jotka ovat jaoteltu MARA-asetuksen kriteerit täyttäviin, ympäristöluvan vaativiin sekä kohteisiin, jotka tarvitsevat tarkempaa selvitystä. Betonimurskeelta vaaditaan laadullisten ominaisuuksien puolesta CE-merkintää sekä betonimurskeen ominaisuuksien selvittämistä haitta-aineettomuuden varmistamiseksi. Haitta-aineita ovat Infra ry:n mukaan esimerkiksi

- Asbesti
- Kreosooti
- PCB-yhdisteet
- Lyijy. (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit).



Betonimursketta voidaan ohjeistuksen mukaan käyttää seuraaviin tarkoituksiin:

- MARA-asetusten mukaiset hyödyntämiskohteet maarakentamisessa
  - Kadut, yleiset tiet ja jalkakäytävät, sekä niihin välittömästi liittyvät, liikennettä tai tienpitoa varten tarpeelliset alueet, pois lukien meluesteet.
  - Pysäköintialueet
  - Rapapihat, sekä jätteenkäsittely-, teollisuus- ja lentoliikenteiden alueiden varastointikentät ja tiet
- Hyödyntämiskohteet, jotka vaativat ympäristöluvan
  - Putkikaivantojen lopputäytöt (esim. kaduilla sijaitsevien putkikaivantojen täyttö MARA-asetusten mukainen)
  - Satamien kenttärakenteet
  - Puistojen täytöt
  - Meluvallit
  - Raitiovaunulinjojen alapuoliset täytöt
- Tarkempaa selvitystä vaativat kohteet
  - Pienet kohteet, sijoitettava määrä alle 500 m<sup>3</sup>
  - Vain pieni osa rakenteen poikki- tai pituusleikkauksesta tehtäisiin betonimurskeella.
  - Betonimurskakerroksen läpi virtaa mahdollisesti merkittäviä määriä vettä rakenteen sivusta.
  - Katuluokat 4...6 (mukaan ei ole laskettu jalkakäytäviä, pysäköintialueita, pyöriteitä tai puistoteitä). (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki).

Taulukko 5. MARA-asetuksen mukaiset raja-arvot betonimurskeelle (VNa 591/2006)

Haitallinen aine	Raja-arvo (mg/kg kuiva-ainetta) Perustutkimukset <sup>1</sup>			Raja-arvo (mg/kg kuiva-ainetta) Laadunvalvontatutkimukset <sup>1</sup>		
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne
PCB <sup>2</sup>	1,0			1,0		
PAH <sup>3</sup>	20					
Mineraaliöljyt <sup>4</sup>	500					
DOC <sup>5</sup>		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,06			
Arseeni (As)	50	0,5	0,5	50		
Barium (Ba)		20	20			
Kadmium (Cd)	10	0,02	0,02	10	0,02	0,02
Kromi (Cr)	400	0,5	0,5	400	0,5	0,5
Kupari (Cu)	400	2,0	2,0	400	2,0	2,0
Elohopea (Hg)		0,01	0,01			
Lyijy (Pb)	300	0,5	0,5	300	0,5	0,5
Molybdeeni (Mo)		0,5	0,5			
Nikkeli (Ni)		0,4	0,4			
Vanadiini (V)		2,0	2,0			
Sinkki (Zn)	700	4,0	4,0	700		
Seleen (Se)		0,1	0,1			
Fluoridi (F <sup>-</sup> )		10	50			
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		1 000	6 000		1 000	6 000
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )		800	800			

### 3.1.3 Tuhkan hyötykäyttötiedot

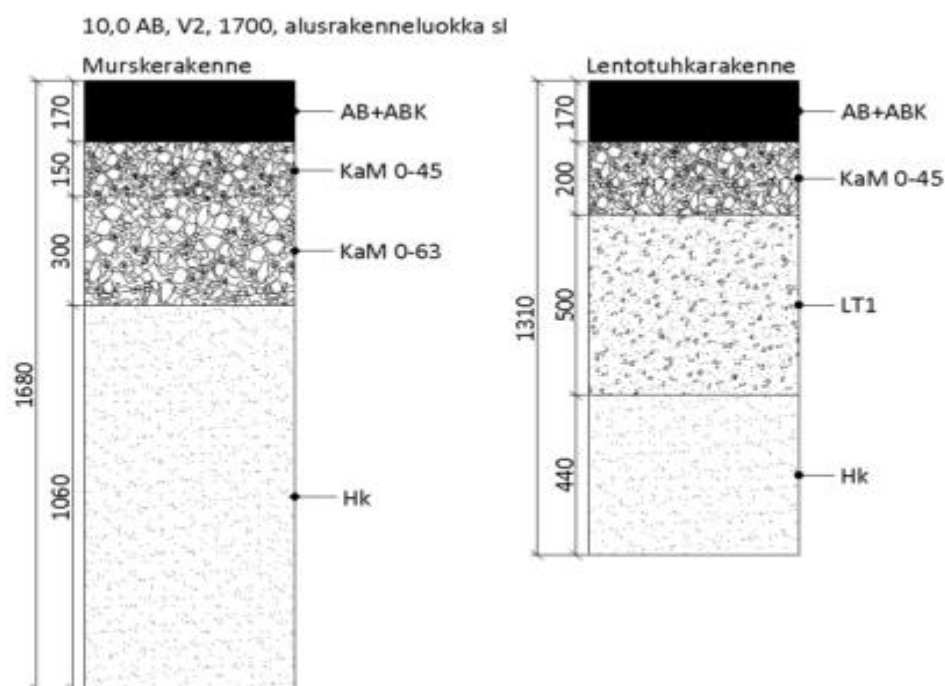
Uusiokäyttöiselle tuhkalle on kaksi pääasiallista hyödyntämistapaa. Nämä tavat ovat lannoitekäyttö sekä maanrakennus. Kuten betonimurskeen kanssa, tuhkamateriaalien kanssa on tehtävä ilmoitus ympäristönsuojelun tietojärjestelmään, vaikka se ei vaatisi ympäristölupaa. Tämän velvoittavat jätelaki ja jätedirektiivi. Ympäristöhallinnon sivuilla on saatavilla tulostettava lomake, jolla ilmoituksen voi tehdä. (VNa 591/2006).

Lentotuhkaa käytetään maanrakennuksessa korvaamaan neitseellistä kiviainesta. Lentotuhkasta voidaan rakentaa esimerkiksi massiivisia lentotuhkarakenteita. Massiivisella lentotuhkarakenteella

tarkoitetaan ainoastaan lentotuhkaa, sekä tarvittaessa lujittavalla sideaineella stabiloitua lentotuhkaa sisältäviä kerrosrakenteita. Tällaisen rakenteen etuna muihin tavanomaisiin rakenteisiin on lämmöneristävyys, kantavuus ja keveys. Päälysrakenteen yläosaan rakennettavat lentotuhkerrokset vaativat mahdollisesti stabilointia sementin tai muiden sideaineiden, tai näiden seosten avulla, jotta tarvittava laatutaso saavutetaan. Sideaineen lisäys kasvattaa lentotuhkarakenteen pitkäikäisyyttä huomattavasti. Lentotuhkaa itseään on myös mahdollista hyödyntää osana sideainetta erilaisissa stabilointimenetelmissä. Näihin stabilointimenetelmiin kuuluvat

- Pehmeiden maa-ainesten stabilointi
- Tien ja kentän päälysrakenteen kantavan kerroksen stabilointi
- Huonolaatuisen maa-aineksen ja sedimentin stabilointi
- Pilaantuineiden maiden stabilointi. (Ramboll).

Lentotuhkapohjaisiin sideainesseoksiin voidaan myös lisätä muuta teollisuuden sivutuotteita tai jätemateriaaleja. Näitä materiaaleja ovat fosfokipsi, rikinpoistotuote ja masuunikuona. (Ramboll).



Kuva 1. Esimerkki vastaaville vaatimuksille mitoitetuista lentotuhka- ja kiviainesrakenteista. (RAMBOLL)

Yllä olevasta kuvasta voidaan todeta, että lentotuhkarakenteessa säästetään luonnon kiviaineksia noin 60%.

Pohjatuhkasta rakennetaan erilaisia rakenteita kuin lentotuhkasta. Pohjatuhkaa, joka on rakeisuudeltaan ja ympäristöominaisuuksiltaan sopivaa, voidaan käyttää hiekan tapaan teiden päälysrakenteissa, kenttärakenteiden suodatinkerroksissa ja pengerryksissä. Hiekkarakenteeseen verrattuna pohjatuhkasta tehdyn rakenteen etuna on hyvä lämmöneristävyys ja keveys.

Rakentaminen on mahdollista myös erilaisista tuhaseoksista. Näissä tapauksissa lento- tai pohjatuhkaan on sekoitettuna esimerkiksi kuitusavea. Esimerkiksi lentotuhka-kuitusaviseoksella pyritään hyödyntämään tuhkan lujuutta ja kuormituskestävyyttä, samalla pyrkien tuomaan kuitusavea käyttäen muodonmuutoskestävyyttä ja joustavuutta ratkaisuun. Muita maiteriaaleja, joita voidaan hyödyntää seostyyppisessä ratkaisussa ovat kipsit ja rikastushiekat. (RAMBOLL).

Tuhkaa voidaan hyödyntää myös lannoitekäytössä. Evira määrittelee lannoitteena käytettävän tuhkan muodostuvan kasvisperäisten raaka-aineiden poltosta sekä lannan poltosta.

Tuhkavalmisteiden on täytettävä lannoitevalmisteille asetetut typpinimikohtaiset ja yleiset vaatimukset. Seuraavassa taulukossa on eritelty haitta-aineiden pitoisuudet lannoitusikäytön mukaan. Muulla käytöllä tarkoitetaan viherrakentamisesta, puutarha- ja peltotaloutta ja maisemointia. ([www.evira.fi](http://www.evira.fi)).

Taulukko 6. Tuhkan haitta-aineiden raja-arvot (EVIRA)

<b>Alkuaine</b>	<b>Metsäkäyttö mg/kg ka.</b>	<b>Muu käyttö mg/kg ka.</b>
Arseeni (As)	40	25
Elohopea (Hg)	1,0	1,0
Kadmium (Cd)	25	2,5
Kromi (Cr)	300	300
Kupari (Cu)	700	600
Lyijy (Pb)	150	100
Nikkeli (Ni)	150	100
Sinkki (Zn)	4500	1500

Taulukko 7. MARA-asetuksen raja-arvot tuhille ja leijupetihiekalle (VNa 591/2006)

Haitallinen aine	Raja-arvo (mg/kg kuiva-ainetta) Perustutkimukset <sup>1</sup>			Raja-arvo (mg/kg kuiva-ainetta) Laadunvalvontatutkimukset <sup>1</sup>		
	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne	Pitoisuus	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Peitetty rakenne	Liukoisuus (L/S = 10 l/kg) Päällystetty rakenne
PCB <sup>2</sup>	1,0					
PAH <sup>3</sup>	20/40 <sup>4</sup>					
DOC <sup>5</sup>		500	500			
Antimoni (Sb)		0,06	0,18			
Arseeni (As)	50	0,5	1,5	50		
Barium (Ba)	3 000	20	60	3 000		
Kadmium (Cd)	15	0,04	0,04	15		
Kromi (Cr)	400	0,5	3,0	400	0,5	3,0
Kupari (Cu)	400	2,0	6,0	400		
Elohopea (Hg)		0,01	0,01			
Lyijy (Pb)	300	0,5	1,5	300	0,5	1,5
Molybdeeni (Mo)	50	0,5	6,0	50	0,5	6,0
Nikkeli (Ni)		0,4	1,2			
Vanadiini (V)	400	2,0	3,0	400	2,0	3,0
Sinkki (Zn)	2 000	4,0	12	2 000		
Seleeni (Se)		0,1	0,5		0,1	0,5
Fluoridi (F <sup>-</sup> )		10	50		10	50
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		1 000	10 000		1 000	10 000
Kloridi (Cl <sup>-</sup> )		800	2 400		800	2 400

## 4 ANALYTIikka JÄTTEIDEN KARAKTERISOINNISSA

### 4.1 Tuhka ja betoni

Tuhkaa muodostuu energiantuotannon polttoprosessien sivutuotteena ja muodostuvan tuhkan laatu määrittyy polttoprosessin, tuhkanerotustekniikan ja polttoaineen mukaan. Tuhkaa muodostuu myös metsäteollisuuden prosesseissa. Itsessään tuhka on polttoprosessissa palamatonta ainesta. Suomessa käytettäviä yleisimpiä polttoaineita ovat turve, puumateriaalit, kivihiili sekä erilaiset polttoaineseokset jotka voivat sisältää edellämainittuja polttoaineita tai jätteitä. Tuhka luokitellaan lähtökohtaisesti jätteeksi, joten sen hyödyntämistä säädellään jätelaissa (646/2011, voimassa 1.5.2012) ja ympäristönsuojelulaissa (86/2000 ja 647/2011, voimassa 1.5.2012) sekä niiden alaisissa asetuksissa asetetuissa säädöksissä. MARA-asetus mahdollistaa tuhkan hyödyntämisen maanrakennuksessa ilman ympäristölupaa (527/2014). Suomessa syntyvistä tuhkalaaduista merkittävimpiä ovat kivihiilen pohja- ja lentotuhka, seospolton lento- ja pohjatuhkat ja rinnakkaispolton lento- ja pohjatuhkat. (Tuhkarakentamisen käsikirja).

Turpeen ja puuperäisen aineksen polton pohja- ja lentotuhkalla tarkoitetaan jätettä, joka erotellaan mekaanisesti tai sähköisesti turpeen, kuorijätteen, puuhakkeen, ensiömassan tuotannon, käsittelemättömän puujätteen, kuituainetta sisältävän kasviperäisen jätteen tai näiden muodostaman seoksen poltossa syntyvistä savukaasuista tai poistettu polttolaitoksen polttokammion pohjalta. Kivihiilen polton lento- ja pohjatuhkalla tarkoitetaan jätettä, joka on eroteltu mekaanisesti tai sähköisesti kivihiilen polttamisessa syntyvästä savukaasusta tai joka on poistettu kivihiilen polttolaitoksella polttokammion pohjalta.

Kivihiilen, turpeen ja edellä tarkoitetun puuperäisen aineksen polton leijupetihiekalla tarkoitetaan leijukerroslaitoksen polttoprosessissa poistettavaa hiekkapetimateriaalia tai poltossa hienontunutta hiekkapetimateriaalia, joka erottuu savukaasusta joko kattilassa tai savukaasujen puhdistuksessa. (VNa 591/2006).

Betoni on suomein yleisin rakennusmateriaali, jota valmistetaan sementistä, vedestä ja kiviaineista. Betoni koostuu n. 70 %:sti kiviaineksesta. Betonin valmistukseen käytettävä kiviaines koostuu kivirakeista (tyypillisesti 0.02—16 mm). Runkoaineen karkeimman osan muodostaa murske tai luonnonsora, ja hienomman luonnonhiekkia. Runkoaineena voidaan käyttää myös murskattua betonia mikä luo jo käytössäolevalle betonille tärkeän uusiokäyttömahdollisuuden. Betonin valmistuksessa käytetty vesi on yleisimmin vesijohtovettä, sillä muissa vedenlähteissä olevat mahdolliset epäpuhtaudet voivat hidastaa tai kokonaan estää betonin kovettumisen. Sementin pääasiallinen valmistusmateriaali on kalkkikivi. Sementtiä valmistaessa sen raaka-aineet jauhetaan ja kuumennetaan uunissa noin 1450 celsiuskseen, jolloin raaka-aineiden sisältämät mineraalit sulavat ja reagoivat keskenään. Kemiallisista reaktioista syntyy pääasiassa kaliumsilikaateista muodostuvia klinkkerimineraaleja, joista sementti jauhetaan. Sementtiä käytetään yhtä betonikuutiota kohden

noin 8—16 paino-%. Betonin lisäaineina on myös mahdollista käyttää erilaisia polymeereja. Näillä voidaan säädellä esimerkiksi betonin ilmapitoisuutta, notkeutta sekä kovettumisen nopeutta. (www.betoni.com).

Suomen sementtiteollisuuden vuotuiset hiilidioksidipäästöt ovat suuruudeltaan noin miljoona tonnia. Vertailun vuoksi Suomen kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 80 miljoonaa tonnia vuodessa. Sementtiteollisuus on ollut mukana päästökaupassa vuodesta 2005. (betoni.com).

#### 4.1.1 Tuhkaan sovellettava analytiikka

Tuhkasta analysoidaan ominaisuuksia, jotka ovat tärkeitä tietää määritettäessä tuhkan hyötykäyttökohdetta. Uusiokäyttökohteita tuhkalta ovat esimerkiksi sideaineena toimiminen tien pinnoitteessa ja pintarakenteissa. Analysoitavia ominaisuuksia selvitettiin suomalaisista laboratoriopalveluita tarjoavista yrityksistä, jotka analysoivat uusiokäyttöisiä jätteitä. Analyysien pääpaino keskittyy tuhkan eri muotojen pääasiallisiin käyttötarkoituksiin, eli maarakennukseen ja lannoitukseen.

Maarakennukseen siirrettävistä tuhkakajakeista määritetään MARA-asetuksen mukaisesti.

- Puristuslujuus
- Routamitoitus
- Puskurointikyky
- Lujittumisominaisuudet
- Optimivesipitoisuus
- Maksimi kuivatilavuuspaino
- Rakeisuus
- Puristuslujuus
- Jäätymis-sulamiskestävyys
- Sulfaattipitoisuus. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 591/2006).

Muita analysoitavia ominaisuuksia, joiden tuntemusta vaaditaan esimerkiksi tuhkan lannoituskäytössä ja parempien sähkösuodattimien käyttöönotossa analysoidaan seuraavilla metodeilla:

- Tuhkafuusio
- Tuhkan viskositeetti
- Kemiallinen tuhkan aineiden analyysi
- Lentotuhkan resistiivisyys
- Hiilen petrografia
- Kokonaispitoisuuksien määrittäminen
- Kuningasvesiuutto
- Röntgenfluorenssi (XRF-menetelmät)
- PAH
- PCB
- Mineraaliset öljyt
- BTEX
- TOC
- CEN/TS 14405 (läpivirtaustesti)
- SFS-EN 12457-1/2 (yksivaiheinen ravistelutesti)
- SFS-EN 12457-3 (kaksivaiheinen ravistelutesti)
- Haitallisten aineiden määrittely liuoksista (As, Ba, Cr, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn, Cl<sup>-</sup>, DOC, F, Fenoli-indeksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)
- pH-arvojen määrittäminen
- Johtokyvyn määrittäminen
- Hehkutushäviö
- Kosteusmittaus
- Kalkitusaineen neutralointikyvyn määrittäminen
- Kationinvaihtokapasiteetti
- COD
- Kaatopaikkakelpoisuus
- Vesiliukoiset ravinteet. ([www.sgs.fi](http://www.sgs.fi), [www.labroc.fi](http://www.labroc.fi), [www.labtium.fi](http://www.labtium.fi)).



#### 4.1.2 Betoniin sovellettava analytiikka

Tällä hetkellä betonin uusiokäytön kohteet ovat pääasiassa maanrakennuksessa sekä uuden betonin runkoaineena. Tämän vuoksi betoniin kohdistuvaa tutkimusta ja analytiikkaa säätelee pääasiassa siis MARA-asetus. Seuraavia analytiikkametodeja sovelletaan uusiokäyttöön siirrettävälle betonille suomalaisten analytiikkapalveluita tarjoavien yritysten toimesta:

- Ohuthietutkimus (ASTM C 856-11)
- Pintahietutkimus
- Vetolujuuden määrittäminen (SFS-EN 14629)
- Sulfaattipitoisuuden määrittäminen
- Kloridipitoisuuden määrittäminen
- Puristuslujuuden määrittäminen (SFS-EN 12390-3)
- Karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen
- Optinen ilmahuokousmäärittäminen ja huokosjako (VTT- TEST R003-2010). ([www.labtoc.fi](http://www.labtoc.fi)).

Metodien perässä sulussa oleva koodi ilmoittaa standardin tunnuksen.

#### 4.2 Analytiikkapalveluja tarjoavat yritykset Suomessa

Labtium Oyj on suomalainen, usealla paikkakunnalla toimiva laboratoriopalveluita tarjoava yritys. Yrityksen tarjoamat palvelut kattavat seuraavat teollisuuden alat: malminetsintä ja kaivostellisuus, metsäteollisuus, ympäristö, energia ja materiaali- ja tuotetestaus.

Labtium Oyj:llä on käytössään useita erilaisia analyysimenetelmiä uusiokäyttöisten jätteiden karakterisointiin. Analyysimenetelmät noudattavat CEN-, SFS- ja ISO-standardia. Menetelmät vaihtelevat kiviaineksille sopivista liuotusmetodeista, lannoitevalmisteiden laadun määrittämiseen. ([labtium.fi](http://labtium.fi)).

Ramboll Oyj on useassa eri maassa toimiva insinööritoimisto. Päätoimisto sijaitsee Tanskassa, ja toiminta jakaantuu Suomeen, Tanskaan, Iso-Britanniaan ja Ruotsiin. Ramboll Oyj:n liiketoimintasegmentit ovat kiinteistöt ja rakentaminen, infra ja liikenne, energia, vesi, ympäristö ja terveys, öljy ja kaasut sekä johdon konsultointi. Ramboll Oyj tarjoaa myös laboratoriopalveluita Ramboll Analytics nimellä. Analyysipalvelut noudattavat SFS-ISO-, CEN-, NEN-, ASTM-, EPA-, DIN-standardia. ([ramboll.fi](http://ramboll.fi)).

Ekokem on suomalainen jätealalla toimiva kiertotalousyhtiö. Yhtiön liiketoimintaan kuuluva osa-alueet ovat kierrätysmateriaalit, ympäristörakentaminen, jätehuoltopalvelut, ympäristöalan asiantuntijapalvelut ja vaarallisten jätteiden käsittely. Ekokemin toiminta-alueita ovat pohjoismaat, tarkemmin Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska. ([ekokem.fi](http://ekokem.fi)).

Labroc toimii kahdella paikkakunnalla Suomessa, Espoossa ja Oulussa. Labroc tarjoaa riippumatonta betonin ja haitta-aineiden analysointiin erikoistuneita palveluita. Muita tarjottuja palveluita ovat laadunvarmistuspalvelut. Yrityksen toiminta noudattaa ISO 9001- ja SFS-EN 17025-standardeja. (labroc.fi).

Ahma group sisältää seuraavat liiketoimintasegmentit: Ahma insinöörit, Ahma ympäristö ja Ahma Optima. Ahma ympäristö Oy:n laboratorio-osasto tarjoaa palveluita, jotka ovat erikoistuneet vesi-, polttoaine-, sekä ympäristön analysointiin. Osasto suorittaa myös teollisuuden sivutuotteiden sekä jätemateriaalien hyötykäyttöäkelpoisuuden ja kaatopaikkakelpoisuuden. Akkreditoituun pätevyysalueeseen sisältyvä toiminta ja toimipaikat toimitetaan pyydettyäessä, tai ovat nähtävissä FINAS-akkreditointipalvelun verkkosivuilla [www.finas.fi](http://www.finas.fi) (T131). Ahman menetelmät perustuvat kansainvälisiin standardeihin, joita ovat SFS-EN, IS-, ASTM, EPA ja CEN. Ahma ilmoittaa laboratorion vuotuiseksi näytemääräksi noin 110 000 näytettä. ([www.ahmagroup.com](http://www.ahmagroup.com)).

SGS on kansainvälinen tarkastus-, testaus-, verifiointi- ja sertifiointiyritys. SGS:n päätoimisto sijaitsee Genevessä, Sveitsissä. SGS:llä on toimintaa Suomessa viidessä eri kaupungissa; Helsingissä, Espoossa, Tampereella, Kotkassa ja Raumalla. SGS:n ympäristölaboratorio tarjoaa palveluita, jotka liittyvät uusiutuvaan energiaan sekä jätteisiin. Palveluihin sisältyvät mm. tuhkan ominaisuuksien määrytykset, kosteusmäärytykset sekä jätemetallianalyysit. ([sgs.fi](http://sgs.fi)).

## 5 STANDARDI CEN/TC 292 N 589, ACID AND BASE NEUTRALIZATION CAPACITY TEST

### 5.1 Standardin käyttötarkoitus ja esittely

Standardilla CEN/TC 292 N 589 pyritään laboratorio-olosuhteissa luomaan käsitys testattavan jättesäikeen happo- tai emäskapasiteetista, eli kuinka paljon kyseinen jätejäte kestää happoa tai emästä ilman pH:n muutosta. Tämä tapahtuu altistamalla näyte uuttoaaineelle, johon on sekoitettu reagenssina joko emästä tai happoa. Standardi on European committee for standardizationin julkaisema. Standardin julkaisuvuosi on 2002. Standardin virallinen nimitys on Characterization of waste – Leaching behaviour tests – Acid and base neutralization capacity test.

Labtium Oyj:n toiveesta standardille suoritettiin koeajo, jonka pohjalta työstettiin ohjeistus, sekä excel-työkalu Labtium Oyj:n henkilökunnan käyttöön. Standardin koeajo suoritettiin Labtium Oyj:n Kuopion toimipisteessä, Neulaniementie 5:ssä. Standardin antamaa ohjeistusta ja taulukointia ei pidetty tarpeeksi laajana ja helppokäyttöisenä, joten näiden sisältöä jouduttiin laajentamaan sekä muokkaamaan helppokäyttöisemmäksi. Labtium Oyj:n toiveiden mukaisesti ohjeistusta ja excel-työkalua ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä.

### 5.2 Standardin suoritus

Standardin määrittelemät näytteiden alkuvalmistelut hoiti Labtium Oyj:n henkilökunta. Näytteiden alkuvalmistelut sisälsivät näytteiden murskauksen sekä kuiva-ainespitoisuuden määrittämisen. Kokeissa käytettävät näytteet olivat pohjatuhka, lentotuhka sekä betoni. Standardin suoritus aloitetaan valitsemalla ja hankkimalla tarvittavat laitteet. Tarvittava laitteisto on seuraavanlainen:

- Murskain
- Seula
- Vaaka, tarkkuus 0,1g
- pH-mittari, tarkkuus  $\pm 0,005$
- Byretti, tai muu titraukseen sopiva laite
- TOC:n poistoon sopiva suodatin
- Sekoituslaitteistot titraukselle sekä standardille
- Ajanottovälineistö
- Dekantterilaseja titraukseen
- Näytepulloja, materiaali PE tai PP
- Näytteen kuivatukseen tarvittava laitteisto

Standardin suorituksessa reagensseina käytetään typpihappoa, konsentraatioltaan 1 mol/l, sekä lipeää, konsentraatioltaan 0,5 mol/l. Standardissa ennen suoritusta tutkittava näyte murskataan 95%:sti alle 1mm:n raekokoon. Näytteestä seulotaan suuremmat sattumat, kuten naulat pois. Liiallinen nestepitoisuus, joka näytteessä mahdollisesti on, kuivatetaan. Kuivattamiseen käytetään 40 celsiusasteen lämpötilaa. Standardi myös ilmoittaa, että tarpeen vaatiessa näytteestä on poistettava liuennut orgaaninen aines, eli TOC. Näytteen alkuvalmisteluihin kuuluu myös kuiva-aineksen osuuden määrittäminen. Tämä tapahtuu kuivattamalla näytettä 105 celsiusasteessa ja soveltamalla kaavaa (1).

$$W_{dr} = 100 * \frac{m_d}{m_r} \quad (1)$$

Kaavassa (1):

$W_{dr}$  = Näytteen kuivajäännös

$m_d$  = Näytteen massa kuivauksen jälkeen

$m_r$  = Näytteen massa ennen kuivatusta

Näytteen kuiva-aineksen osuuden perusteella määritetty kokeessa käytettävien näytepullojen koko. Kuiva-aineksen määrä vaaditaan myös ylöskirjattavaksi standardin raportointiin kuuluvan taulukointiin.

Kokeessa käytettävä uuttoaine, eli leachant valmistetaan demineralisoidusta vedestä sekä reagenssista. Reagensseina toimivat typpihappo sekä lipeä. Uuttoainetta valmistettaessa on huomioitava standardin ilmoittama L/S-suhde, eli kiinteän ja nestemäisen aineen suhde. Tämä suhde on 10. Näytteen jäävää kosteutta kompensoidaan kaavalla (2). Tarvittavat reagenssien määrät voidaan määrittää titrausmenetelmin tai käyttämällä jo olemassaolevia tietoja näytteiden puskurointikyvyistä.

$$V = 10 * M_d = V_{demin} + V_{\frac{A}{B}} + \left( \frac{100}{W_{dr}} - 1 \right) * M_d = V_L + \left( \frac{100}{w_{dr}} - 1 \right) * M_d \quad (2)$$

Kaavassa (2):

$V$  = Nesteen kokonaismäärä (ml)

$M_d$  = Kuiva-aineen massa näyteannoksessa (g)

$V_{demin}$  = Demineralisoidun veden määrä (ml)

$V_{A/B}$  = Reagenssin määrä (ml)

$W_{dr}$  = Näytteen kuivajäännös (%)

$V_L$  = Uuttoaineen määrä (ml)

Valmistetut uuttoaaineet jaetaan kolmeen yhteen suureen osaan. Koetilanteessa tapahtuvien mahdollisten sekaannusten välttämiseksi uuttoaaineet nimetään näytteiden mukaisesti. Standardissa vaaditaan tutkittavaksi kahdeksan pH-arvoa, joten tarvitaan kolme rinnakkaista näytettä, kustakin tutkittavasta jätejakeesta.

Näytepulloihin uuttoaaine lisätään kolmessa osassa. Ensimmäinen osa lisätään standardin suorituksen alusta. Standardin ajanotto aloitetaan, kun näytteet ovat siirretty sekoituslaitteistoon. Toinen osa uuttoaaineesta lisätään 30 minuuttia kokeen aloituksesta. Ennen lisäystä näytteistä mitataan pH, 5 minuutin laskeutumisajan jälkeen. Kolmas ja viimeinen osuus lisätään 120 minuutin sekoituksen jälkeen. Standardin ilmoittaa pH:n mitattavaksi ajoissa 4:n, 44:n ja 48:n tunnin sekoituksen jälkeen. Saadut pH-arvot kirjataan ylös standardin tarjoamaan exceltaulukkoon. Taulukkoon tulee myös kirjata ylös:

- Reagenssin konsentraatio
- Reagenssin määrä (*ml*)
- Näyteannoksen kuiva-aineen massa (*g*)
- Uuttoaaineen määrä (*ml*)
- Reagenssin moolimäärä ilmoitettuna kuiva-aineen massaa kohden (*mol/kg DM*)
- pH 4:n tunnin sekoituksen jälkeen
- pH 44:n tunnin sekoituksen jälkeen
- pH 48:n tunnin sekoituksen jälkeen
- Erotus pH:ssa 4:n ja 44:n tunnin välillä
- Erotus pH:ssa 44:n ja 48:n tunnin välillä
- Näytteen nimi.

## 6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Labtium Oyj:lle ohjeistus, sekä excel-työkalu standardin suoritusta varten. Ohjeistus ja excel-työkalu Kyseinen standardi oli CEN/TS 292N591, ja sitä käytetään jätteen happo- ja emäspuskurointikapasiteetin määrittämiseen. Opinnäytetyön pääasialliset tavoitteet saavutettiin.

Opinnäytetyö jakautui kahteen osaan, kirjallisuustutkimukseen ja käytännön osuuteen. Teoriaosuudessa tutkittiin yhdyskuntajätteen määrän kehitystä Suomessa, hyötykäyttötöiden ja betoni- ja tuhka-jätteen sekä laboratorioanalytiikkatarjontaa Suomessa. Hyötykäyttötöiden liitettiin CASE-tapauksia sekä MARA-asetuksen ilmoittamat raja-arvot. Käytännönosuus koostui standardin CEN/TS 292N591 koekäytöstä, ohjeistuksen ja excel-työkalun luomisesta sekä Labtium Oy:n henkilökunnan perehdyttämisestä.

Opinnäytetyötä voidaan jatkaa laajentamalla tutkintaa tulevasta laboratorioanalytiikasta, jolloin mahdollisesti Labtium Oyj pääsee käsiksi analyysimetodeihin, jotka tuovat kilpailuetua yritykselle. Yrityksen kilpailukykyä voidaan myös lisätä laajentamalla näkemystä uusiokäyttöiseltä betonilta ja -tuhkalta vaadittavista raja-arvoista nykyisissä ja tulevaisuudessa sovelluskohteissa.

## 7 LÄHTEET

ANTILA, Anna-Maija, KARPPINEN, Maarit, LESKELÄ, Markku, MÖLSÄ. Heini, POHJAKALLIO, Maija. 2014. Tekniikan Kemia. 13. painos.

ELY-keskus. Jätteiden maanrakennushyötykäyttö, 2013. [verkkoaineisto]. [viitattu 24.5.2016]. Saatavissa: [http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/409601/9\\_Jatteiden\\_maanrakennushyotykaytto.\\_Alatervo.pdf/0e8d1d5d-2590-4f18-afbc-6a2d7fd68c8f](http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/409601/9_Jatteiden_maanrakennushyotykaytto._Alatervo.pdf/0e8d1d5d-2590-4f18-afbc-6a2d7fd68c8f)

EVIRA. Tuhkan haitta-aineiden raja-arvot [digikuva]. Saatavissa: <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/tuhkan+kaytto+lannoitteen/>

Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki. Betonimurskeen hyödyntäminen infrarakentamisessa pääkaupunkiseudulla, 2015. [verkkoaineisto] [viitattu 20.5.2016]. Saatavissa: <http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>

Hotanen, S. 2005. Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa. Helsinki: Nykypaino Oy.

Jäte kukko. Mineraalien käsittelykaavio [digikuva]. Jätekeskusesite Suomi [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [http://www.jatekukko.fi/media/liitetiedostot/jatekukko/materiaalipankki/jtekeskusesite\\_suomi.pdf](http://www.jatekukko.fi/media/liitetiedostot/jatekukko/materiaalipankki/jtekeskusesite_suomi.pdf)

PIIRAINEN, Rafael 2016-5-15. Vastaava työnjohtava. [haastattelu]. Kuopio: Ps Tasotyö Oy.

Ramboll. Tuhkarakentamisen käsikirja, 2010. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf)

Ramboll. Esimerkki vastaaville vaatimuksille mitoitetuista lentotuhka- ja kiviainesrakenteista [digikuva]. Tuhkarakentamisen käsikirja [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf)

RUDUS, 2008. Lentotuhkan ympäristöraja-arvot [digikuva]. Lentotuhka -ohje 2008 [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [www.rudus.fi/Download/24033/Lentotuhka-ohje.pdf](http://www.rudus.fi/Download/24033/Lentotuhka-ohje.pdf)

RUDUS, 2008. Pohjatuhkan ympäristöraja-arvot [digikuva]. Pohjatuhka -ohje 2008 [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [www.rudus.fi/Download/24034/Pohjatuhka-ohje.pdf](http://www.rudus.fi/Download/24034/Pohjatuhka-ohje.pdf)

SYKE, 2015. Talonrakentamisen jätteen määrä rakentamistoiminnoittain [digikuva]. Jättemäärien määrän ennakointi vuoteen 2030. [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra\\_17\\_2015.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra_17_2015.pdf?sequence=1)

Tieliikelaitos. Betonimurskeen luokittelu [digikuva]. Uusiomateriaalien käyttö maanrakennuksessa [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020403.pdf>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 591/2006. [Verkkoaineisto] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>

Ympäristöministeriö, 2015. Suomen yhteiskuntajätteen kehitysmäärien ennusteet vuoteen 2030 [digikuva]. Jättemäärien ennakointi vuoteen 2030. [verkkajulkaisu]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra\\_17\\_2015.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra_17_2015.pdf?sequence=1)

Ympäristöministeriö. Jättemäärien ennakointi vuoteen 2030 [verkkoaineisto]. [viitattu 24.5.2016]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra\\_17\\_2015.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155189/YMra_17_2015.pdf?sequence=1)

www.ahmagroup.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://ahmagroup.com/palvelut/laboratorio/laboratorio-analyysipalvelut#analyysi2>

www.betoni.com. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/>

www.ekokem.fi. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://www.ekokem.com/fi/palvelut/laboratoriopalvelut-ja/>

www.evira.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 30.5.2016] Saatavissa: <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/tuhkan+kaytto+lannoitteena/>

www.labroc.fi. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://www.labroc.fi/>

www.labtium.fi. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://www.labtium.fi/fi/palvelumme/ymparisto/liukoisuustestit>

www.ramboll.fi. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://www.ramboll-analytics.fi/analyysit>

www.Rudus.fi. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonijate#>

www.sgs.fi. [verkkoaineisto] [viitattu 24.5.2016] Saatavissa: <http://www.sgs.fi/fi-FI/Finance/Trade/Ore-Coal-Biofuels-Steel-and-Fertilizers/Coal-Coke-and-Biofuels-Analysis/Ash-Analysis.aspx>

www.stat.fi. [verkkoaineisto][viitattu 24.5.2016] Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2014/jate\\_2014\\_2015-12-01\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2014/jate_2014_2015-12-01_tie_001_fi.html)